

УДК 669.3:539.25:6

Т. Р. Суаридзе

Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

Teona_S@imp.uran.ru

ЛЕНТОЧНЫЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПОДЛОЖКИ ИЗ УПРОЧНЕННЫХ СПЛАВОВ НА МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ С ДОБАВКАМИ Fe, Cr, V

Определены наиболее перспективные для ВТСП 2-го поколения тонкие ленты из тройных сплавов на медно-никелевой основе, обладающие высоким комплексом механических и антикоррозионных свойств. Проведены структурные исследования тонких лент на различных стадиях окисления.

Ключевые слова: кубическая текстура; тонкие ленты; медные сплавы; окисление; механические свойства; структура поверхности

T. R. Suaridze

EPITAXIAL TAPE SUBSTRATES MADE OF HARDENED COPPER-NICKEL-BASED ALLOYS WITH Fe, Cr, V ADDITIVES

The most promising for HTSC of the 2nd generation thin tapes from ternary alloys on the copper- nickel basis, which have a high complex of mechanical and anticorrosive properties, are determined. Structural studies of thin tapes at various stages of oxidation were carried out.

Key words: cubic texture; thin tapes; copper alloys; oxidation; mechanical properties; surface structure

Тонкие текстурованные ленты-подложки могут служить основой для эпитаксиального нанесения на нее буферных и сверхпроводящих слоев при создании высокотемпературных сверхпроводящих материалов 2-го поколения (ВСТП 2-го поколения, или 2G HTSC). При разработке перспективных металлических лент-подложек повышенное внимание исследователей в области 2G HTSC вызывают медно-никелевые сплавы в виду своих физических особенностей, а именно неограниченной растворимости никеля в меди, возможно-

сти формирования острой биаксиальной кубической текстуры, механических свойств и немагнитных характеристик при 77 К. Легирование меди никелем позволяет в 2,5–3 раза повысить предел текучести ленты по сравнению с лентами из чистой меди. Однако стремление уменьшить толщину металлической подложки с целью понижения веса конструкции ВТСП-провода диктует необходимость дальнейшего увеличения прочности ленты.

В настоящей работе рассмотрена возможность использования ряда тройных сплавов на медно-никелевой основе в качестве лент-подложек. Легирование медно-никелевой базы такими элементами, как Fe, Cr и V, было направлено в первую очередь на увеличение прочностных характеристик тонких лент при сохранении в них острой кубической текстуры и немагнитности 77К, присущих медным лентам-подложкам для ВТСП 2-го поколения. Помимо высокой степени текстурованности, ленты-подложки из медных сплавов должны обладать достаточной стойкостью к окислению при ~600–700 °С — температуры нанесения буферных и сверхпроводящего слоев.

Для исследования был выбран ряд тройных сплавов на медно-никелевой основе: Cu–30 %Ni–1,5 %Fe; Cu–30 %Ni–0,7 %Cr; Cu–30 %Ni–0,6 %V, Cu–40 %Ni–1,4 %Fe; Cu–40 %Ni–1,2 %Cr; Cu–40 %Ni–1,1 %V и близкий по составу к промышленному константану сплав Cu–40 %Ni–1,3 % Mn. Текстурированные ленты-подложки из перечисленных сплавов были получены в результате холодной деформации прокаткой до толщины 80–100 мкм и рекристаллизационного отжига. Максимальная степень текстурного совершенства, в которой доля зерен с ориентацией $\{001\}\langle 100 \rangle \pm 10^\circ$ составляла не менее 94 %, для перечисленных сплавов Cu–Ni–Me была достигнута после текстурообразующего отжига в интервале температур 1000–1050 °С, 1 ч [1; 2]. Охлаждение образцов происходило вне печного пространства.

Анализ антиокислительных свойств показал, что максимальной стойкостью к окислению среди исследованных сплавов обладают сплавы Cu–40 %Ni–1,3 %Mn, Cu–40 %Ni–1,2 %Cr, Cu–40 %Ni–1,4 %Fe. Минимальные антиокислительные свойства зарегистрированы у сплава Cu–30 % Ni–0,6 %V. Оценка стойкости к окислению проводилась с помощью метода термогравиметрии. Испытания проводились при нагреве до 700 °С. При 700 °С была произведена изотермическая выдержка продолжительностью 250 мин.

По своим механическим характеристикам сплавы (Cu+Ni)-Me располагаются в следующем порядке: Cu-40 %Ni-1,1 %V > Cu-40 %Ni-1,2 %Cr > Cu-40 %Ni-1,4 %Fe > Cu-30 %Ni-0,6 %V > Cu-40 %Ni-1,3 %Mn > Cu-30 %Ni-0,7 %Cr > Cu-30 %Ni-1,5 % Fe. Наибольшая величина предела текучести $\sigma_{0,2} = 100$ МПа была зафиксирована у сплава Cu-40 %Ni-1,1 %V, наименьшая — $\sigma_{0,2} = 80$ МПа — у сплава Cu-30 % Ni-1,5 % Fe. Заметим, что введение в медно-никелевую основу такого легирующего элемента, как марганец, не приводит к дополнительному упрочнению сплава. Значение предела текучести базового сплава Cu-40 %Ni и сплава Cu-40 %Ni-1,3 %Mn составляло 82 МПа. Присутствующий в промышленном константане марганец является технологической добавкой при раскислении жидкого металла во время выплавки.

Анализ структуры тонких лент, проведенный на различных стадиях окисления (после 5, 30 и 250 мин окисления), показал, что процесс коррозии в тройных сплавах происходит Cu-Ni-Cr, Cu-Ni-Fe неоднородно, т. е. на ранних стадиях окисления на поверхности сплавов формировались локальные очаги коррозии размером $\sim 0,3$ мкм. В этих очагах, по данным рентгеноспектрального микроанализа, наблюдалось повышенное содержание легирующего элемента. В сплавах Cu-Ni-V процесс коррозии шел гораздо интенсивнее, чем в остальных сплавах. На ранних стадиях окисления в ходе электронно-микроскопического исследования не были обнаружены локализованные очаги коррозии, на поверхности лент формировался сплошной оксидный слой. После длительного отжига в окислительной атмосфере (250 мин при 700 °C) на поверхности сплавов Cu-Ni-V, обладающих наименьшей стойкостью к окислению, сформировалась пористая рельефная пленка. В остальных же сплавах (Cu-Ni-Cr, Cu-Ni-Fe) после аналогичного отжига на поверхности формировалась плотная гладкая оксидная пленка с большим количеством трещин.

В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее перспективными в качестве подложек для ВСТП 2-го поколения являются тонкие ленты из сплавов Cu-40 %Ni-1,2 %Cr и Cu-40 %Ni-1,4 %Fe, обладающие высоким уровнем механических и антикоррозионных свойств.

Исследование выполнено по гранту при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00309 мол_а.

Литература

1. Создание лент-подложек с острой кубической текстурой из тройных сплавов Cu–40 %Ni–Me (Me = Fe, Cr, V) для высокотемпературных сверхпроводников второго поколения / Ю. В. Хлебникова [и др.] // ФММ. 2016. Т. 117, № 11. С. 1171–1180.
2. Совершенная кубическая текстура, структура и механические свойства лент-подложек из немагнитных сплавов на основе меди / Ю. В. Хлебникова [и др.] // ЖТФ. 2015. Т. 85, Вып. 3. С. 73–83.